

## 河川堤防の被害：課題と提言

岡山大学大学院環境生命科学研究科 竹下祐二

---

### 【提言3.7】 河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイム に可視化する技術の開発と避難支援

#### （1）堤防内の浸透挙動の計測事例（2017-2018）

小田川5K600右岸（倉敷市真備町）

#### （2）浸透挙動の学習と予測

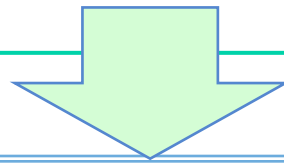
ニューラルネットワークによるパターン認識

---

## 【提言3.7】 河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイムに可視化する技術の開発と避難支援

(中期・長期, 行政・技術者・研究者)

河川水位情報と降雨量情報と連動して準リアルタイムで「堤体内水位」「基盤水位」を予測し, その情報を発信することで避難指示発令の支援など利活用できる仕組みを構築する必要がある。  
また, 低廉でタフな水位センサーや通信手段などの開発も必要で, これら水位センサーを用いて緊急対策箇所などを直接知ることができれば貢献度が大きい。



- 浸透破壊の予測には, 浸透挙動の計測が不可欠
- 有益な水位情報を提供し, 避難までのリードタイムを確保



# 小田川5k600右岸で浸透挙動を計測していた（2017年6月～）





■ 空中写真 平成 19 年撮影 (国土交通省 国土地理院 <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)



- ・対象箇所は小田川右岸側 5.6k (倉敷市真備町服部地内)。
- ・地形治水分類図によると、対象地点は旧河道エリア。
- ・圃場整備前 (平成 19 年) の空中写真では、旧河道に該当すると考えられる農地区画を確認 (写真内に青破線で表示)。

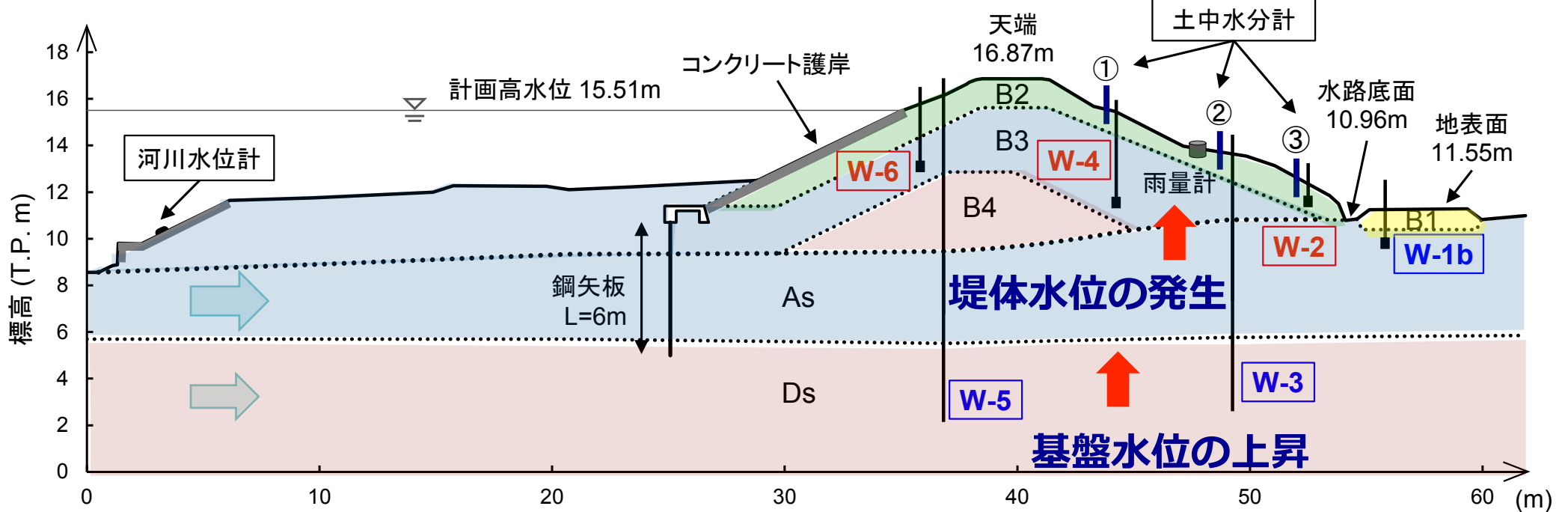
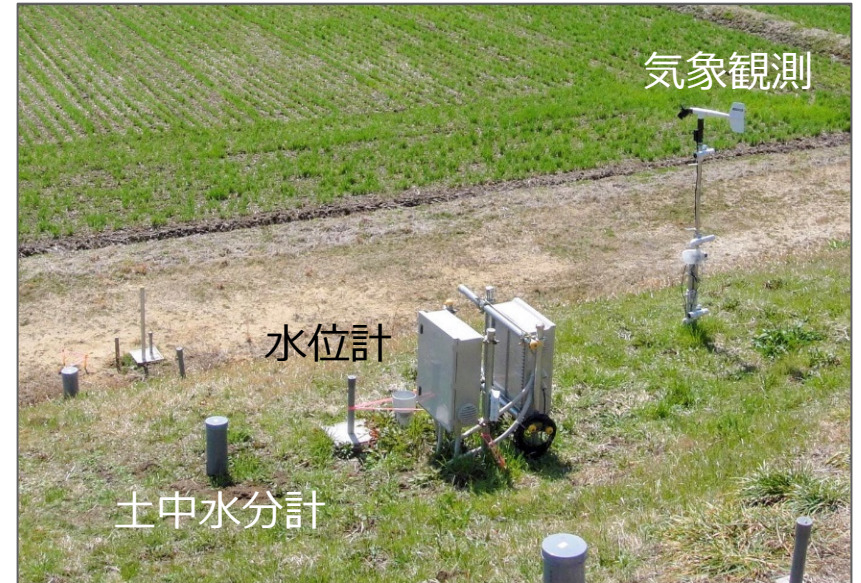
## 堤内地からの伏流水：断面 2 次元モデルの限界？

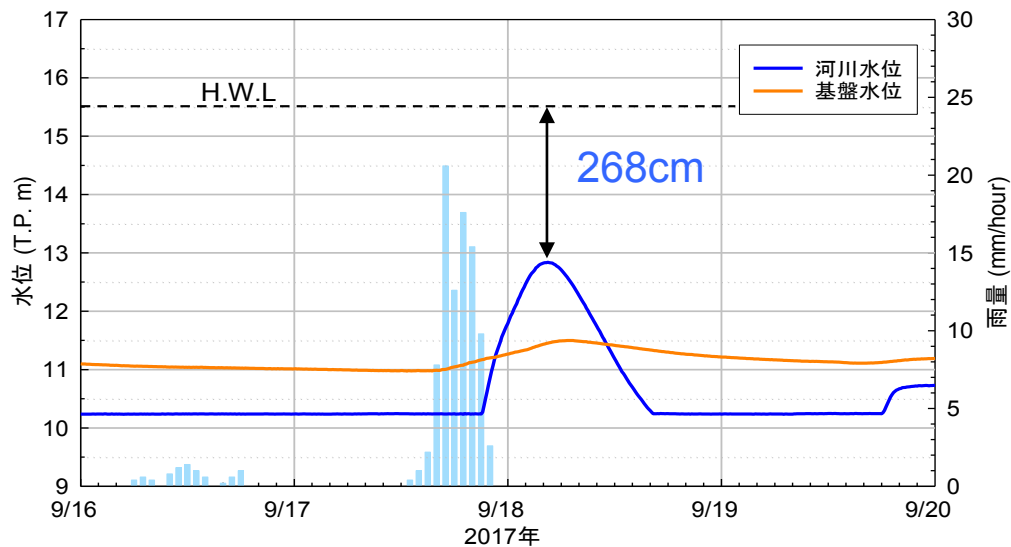
(株) エイト日本技術開発：平成28年度高梁川改修設計業務報告書，第11編 服部箇所地質調査，2017.



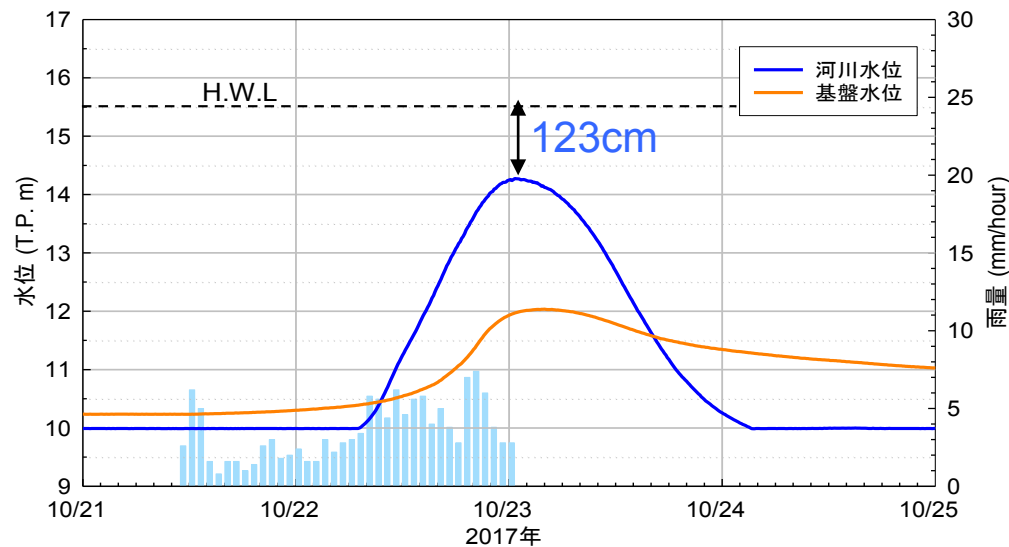
# 堤防の地層構成と計測機器配置

層区分		土質名	代表 N値	間隙率 (%)	透水係数 (cm/s)
盛土	B1	まさ土	—	38.0	$4.74 \times 10^{-4}$
堤体	B2	シルト質砂	5	38.5	$8.24 \times 10^{-5}$
	B3	礫質砂	3	38.3	$1.18 \times 10^{-2}$
	B4	シルト混じり砂	5	43.4	$1.33 \times 10^{-3}$
基礎 地盤	As	礫質砂	8	42.1	$1.10 \times 10^{-2}$
	Ds	砂礫	26	—	$2.56 \times 10^{-3}$

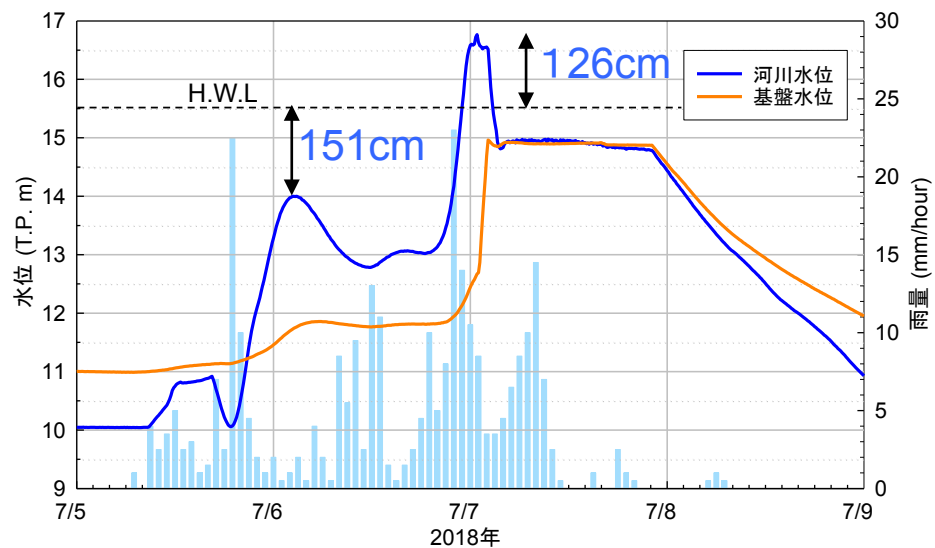




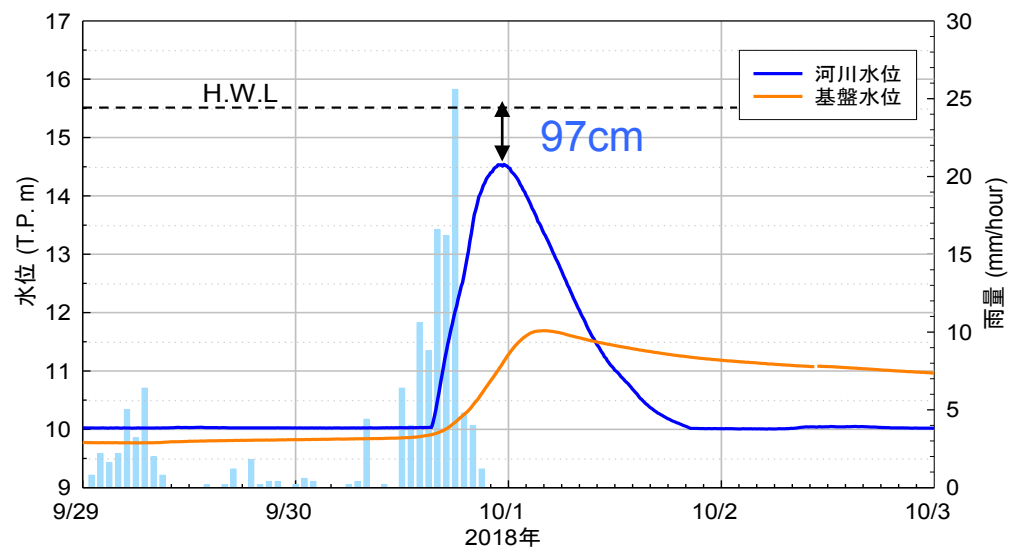
**(a) 2017年台風18号**



**(b) 2017年台風21号**

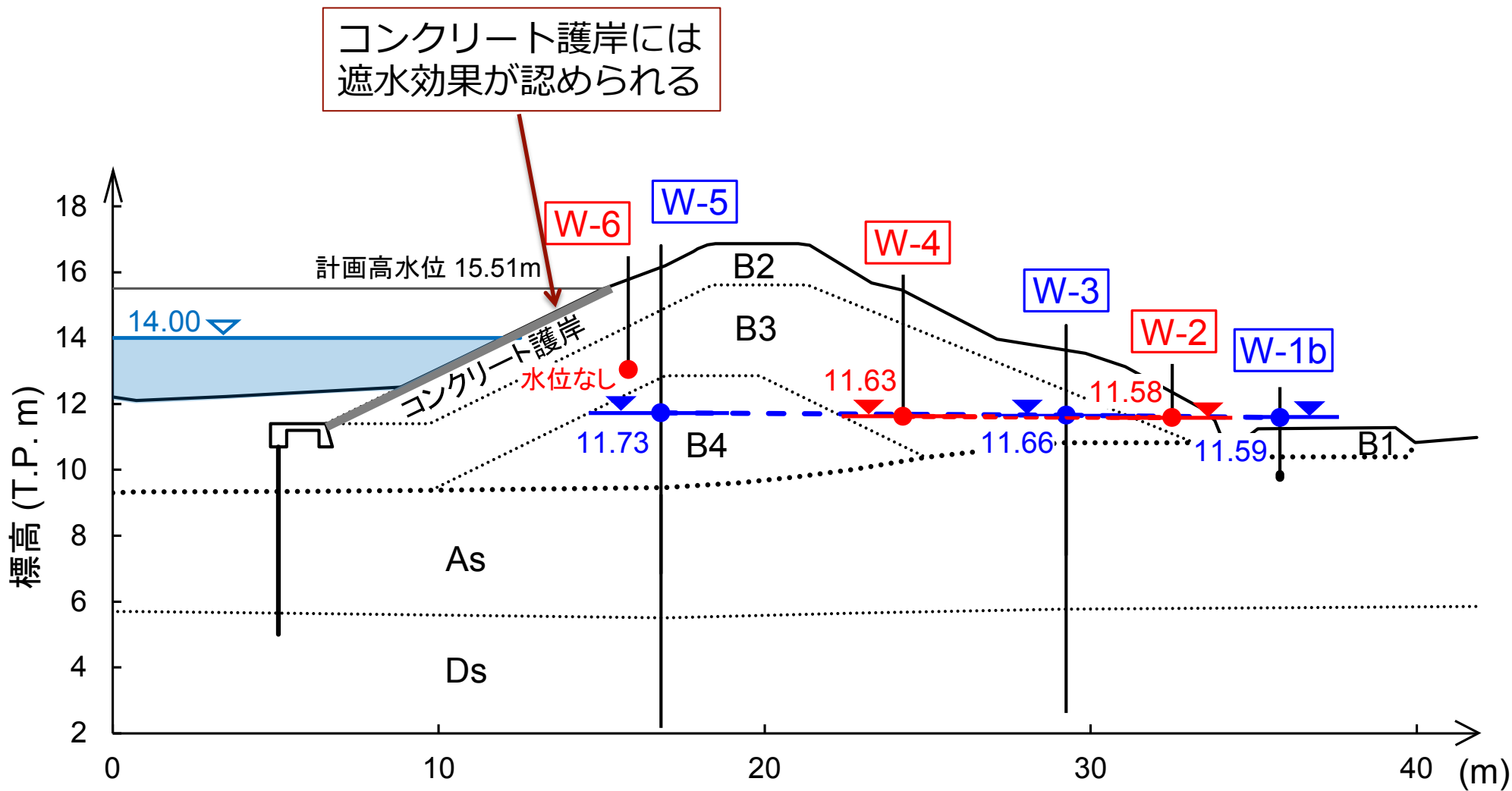


**(c) 2018年7月豪雨**

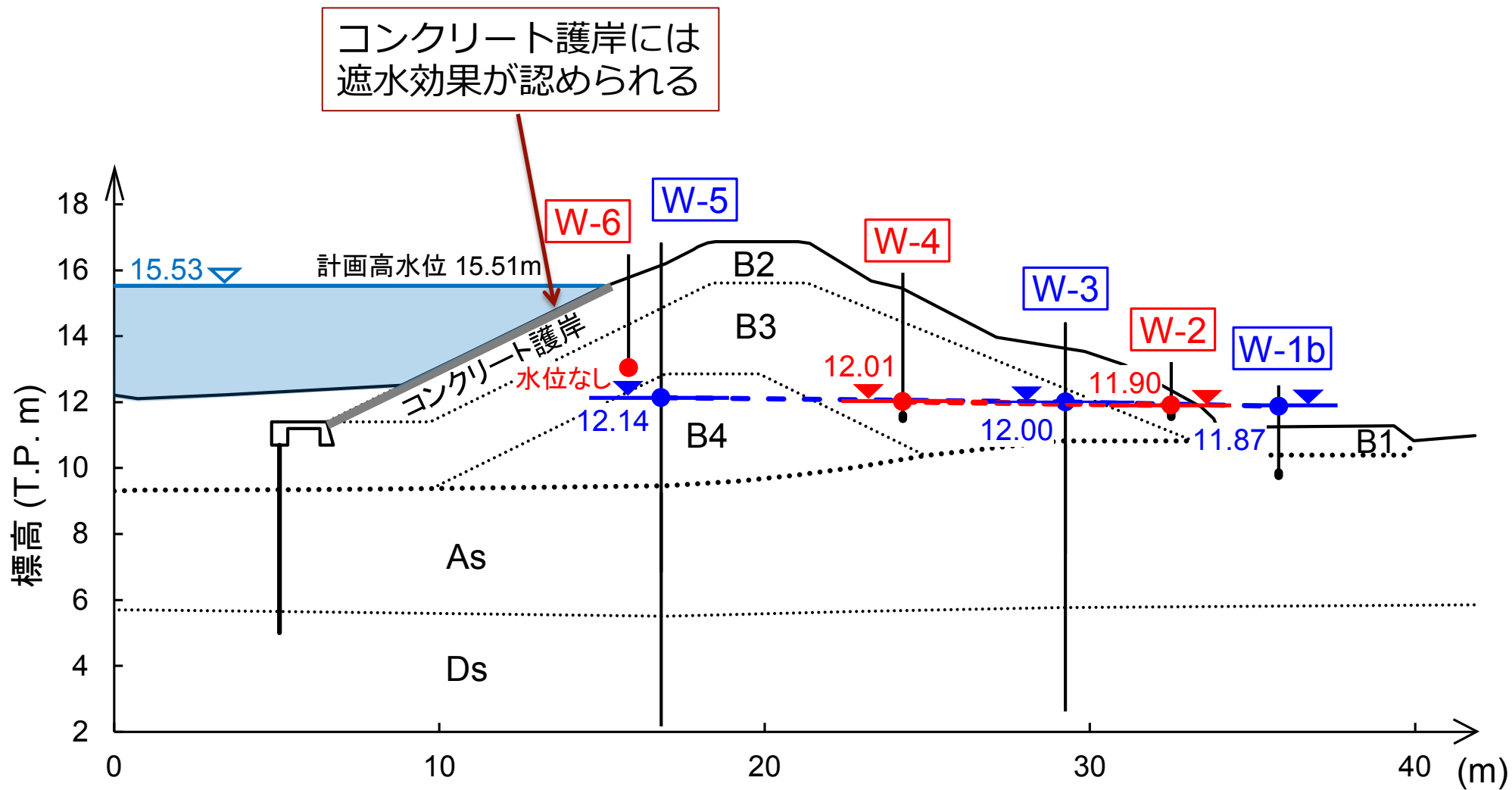


**(d) 2018年台風24号**

**出水時の雨量および河川水位と基盤水位の変動比較**

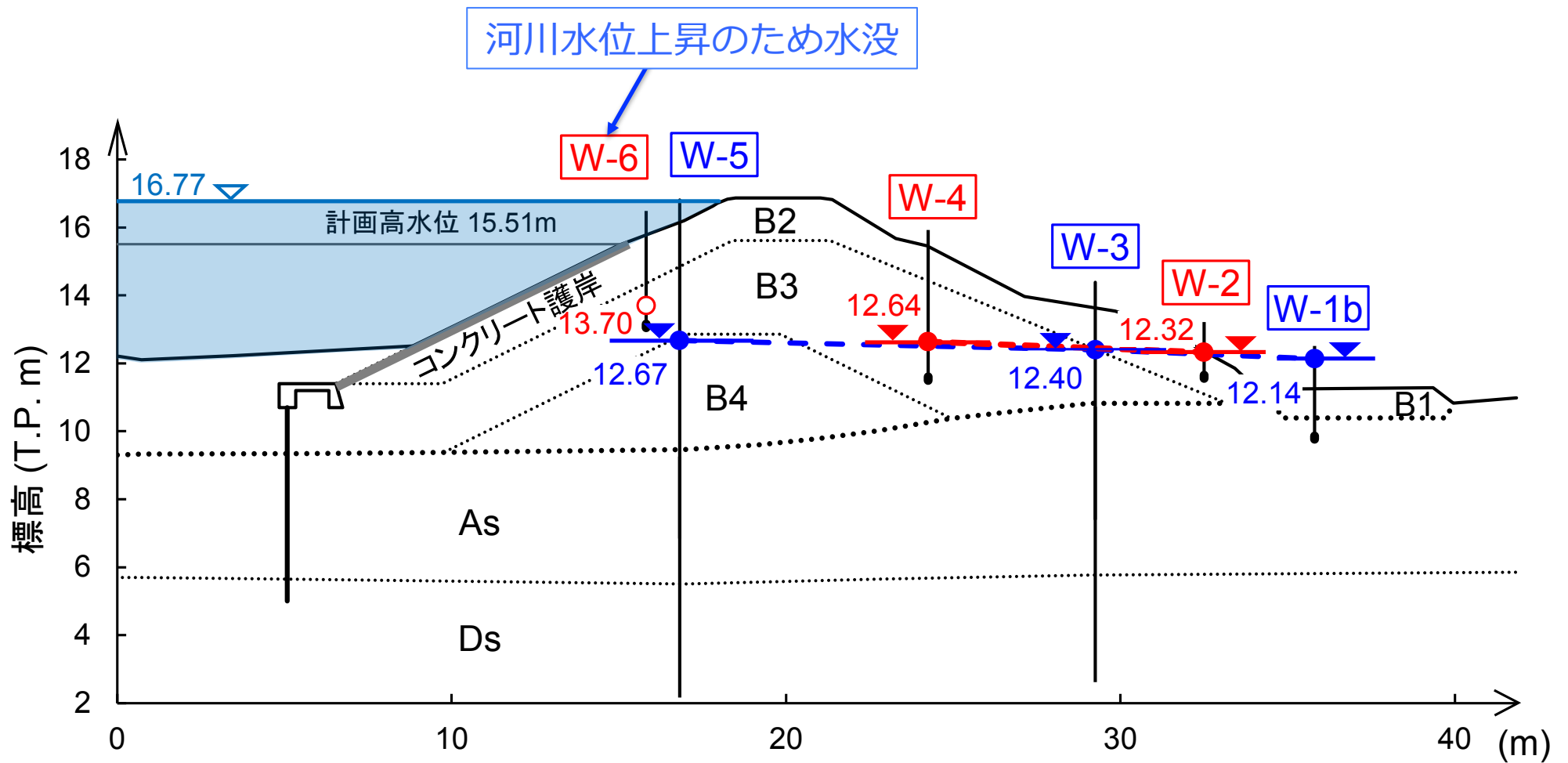


2018年7月豪雨 河川水位ピーク① (7月6日2時20分)



2018年7月豪雨 河川水位H.W.L超過 (7月6日23時00分)

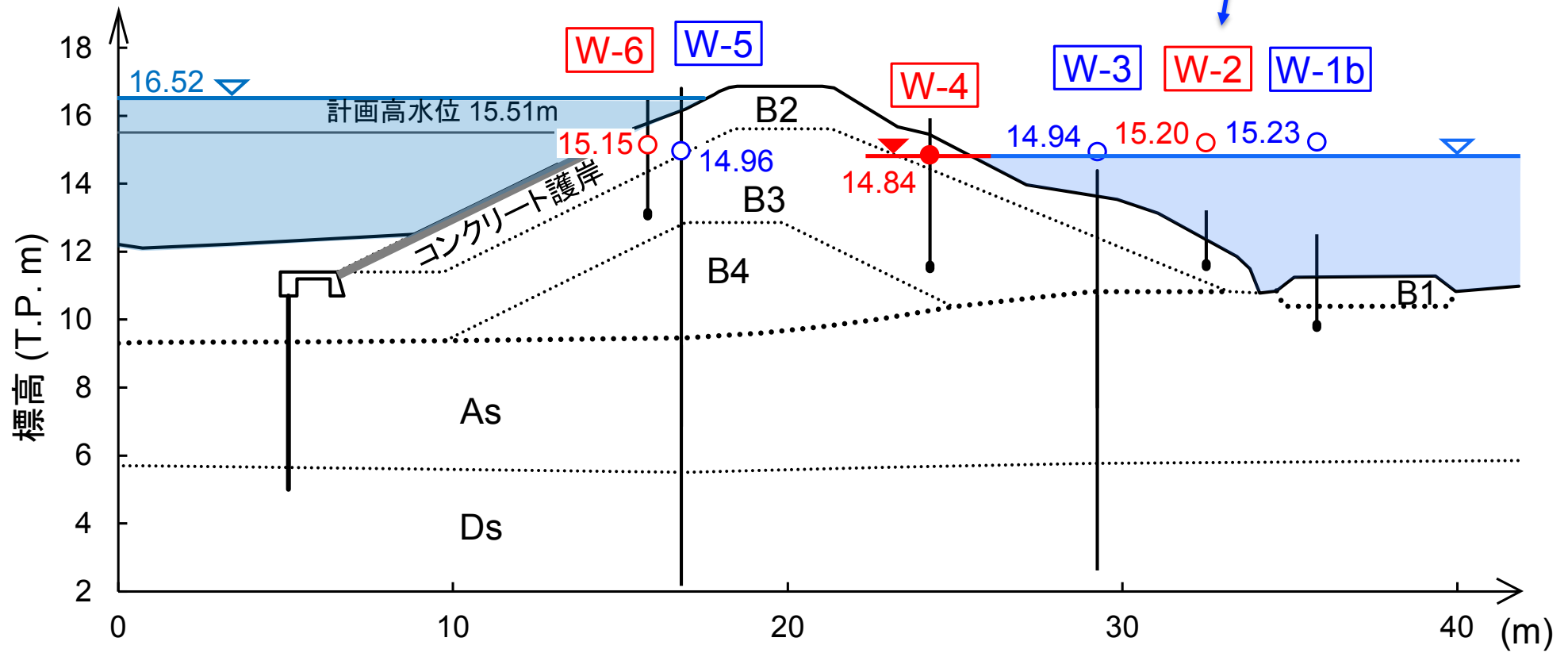




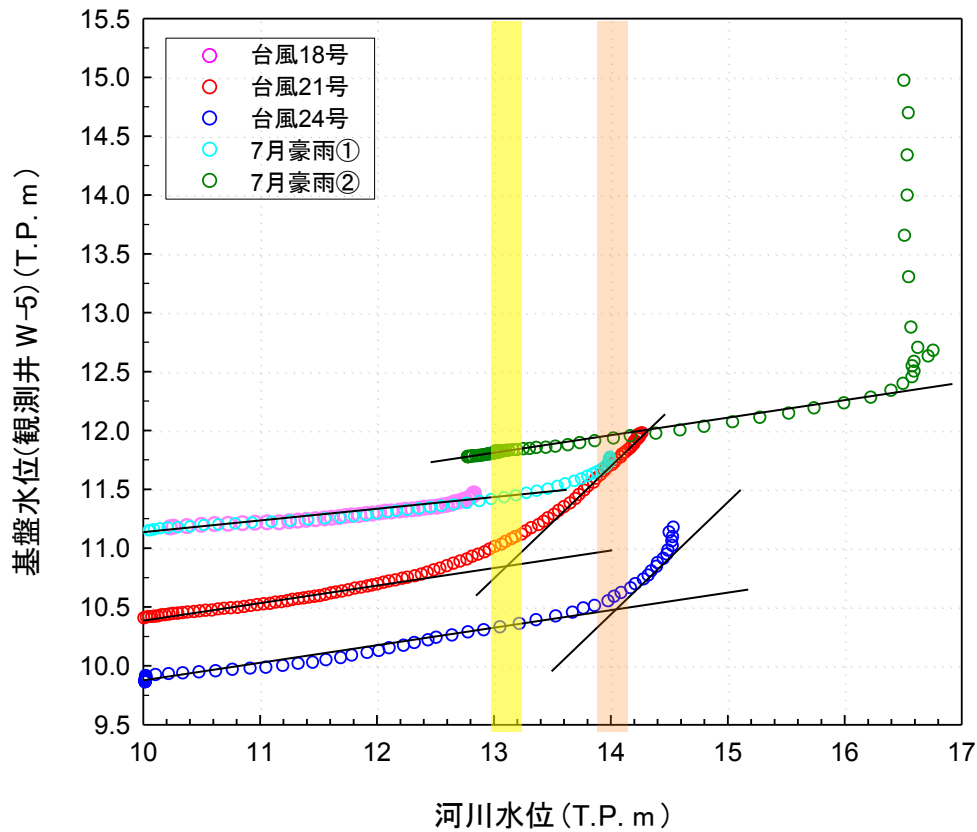
2018年7月豪雨 河川水位ピーク② (7月7日 0時50分)

**真谷川決壊推定時刻  
(7月7日 1時30分頃)**

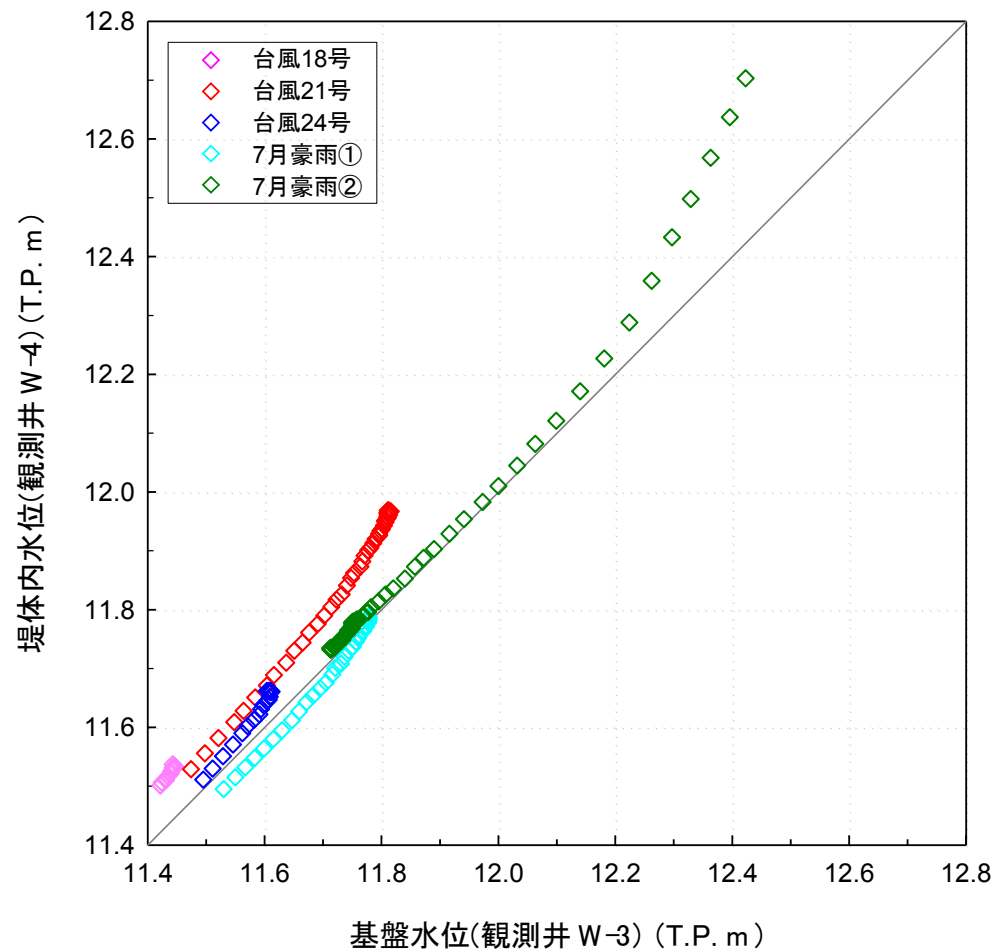
観測井が水没：  
内水氾濫水位を計測



**2018年7月豪雨 堤体内最高水位 (7月7日2時10分)**



(a)河川水位と基盤水位



(b)基盤水位と堤体内水位

## 河川水位と堤防内水位の相関



# 深層学習を用いたニューラルネットワーク による堤防内水位の変動予測

**【学習】 台風による出水時の河川水位と基盤水位の変動**

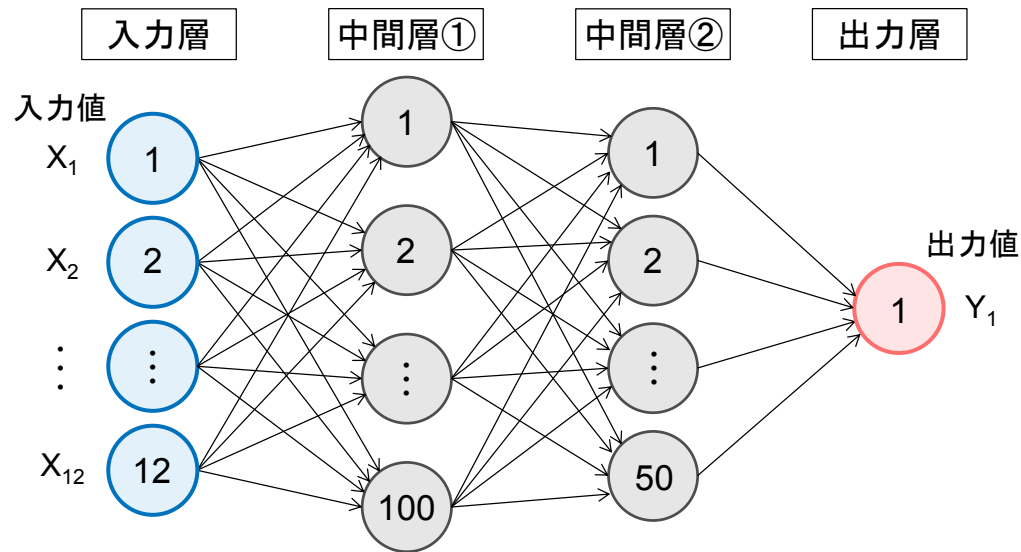
 ①台風18号・②台風21号・③台風24号



**【予測・検証】 平成30年7月豪雨時の基盤水位の変動**



# ニューラルネットワーク (NN) の構築



## 計算設定条件

- 損失関数：平均二乗誤差(MSE)
 
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2$$
 $n$ : データの個数,  $x_i$ : 計測値,  $\hat{x}_i$ : 予測値
- 最適化アルゴリズム：AMSGrad
- 活性化関数：ReLU関数、恒等関数(出力層)
- 学習回数：500万回

入力		出力	
データ	時刻(分)	データ	予測時刻(分)
河川水位	-180, -150, -120, -90, -60, -30, 0	基盤水位	+30
基盤水位	-120, -90, -60, -30, 0		(+60, +90, +120, +150, +180)

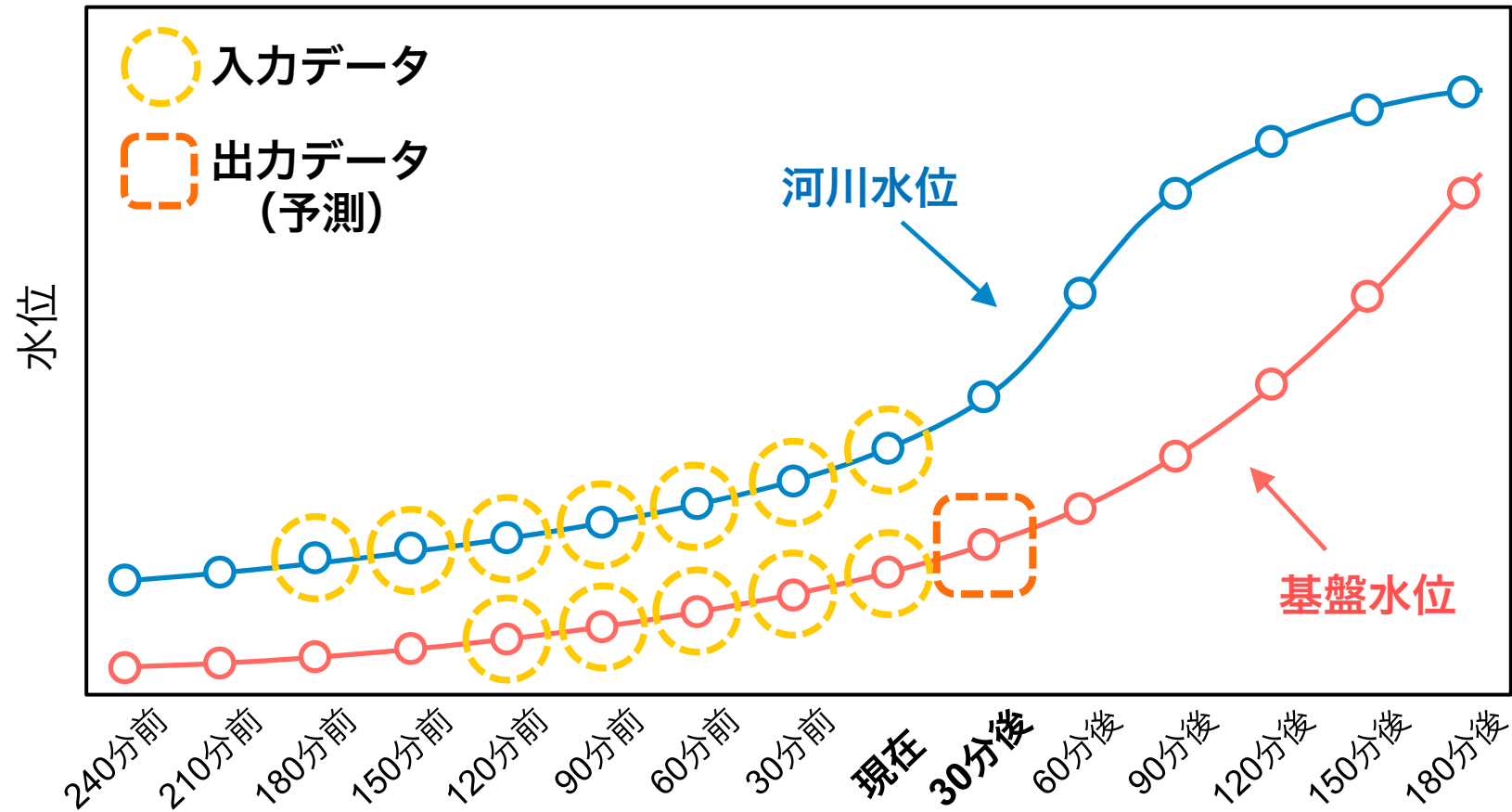
## 精度評価

- 二乗平均平方根誤差(RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}$$



# 入・カデータの設定（30分後の基盤水位を予測）



	-180	-150	-120	-90	-60	-30	現在	+30	+60	+90	+120	+150	+180
河川水位	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
基盤水位	○	○	○	○	○	○	○	○ → ○	○	○	○	○	○



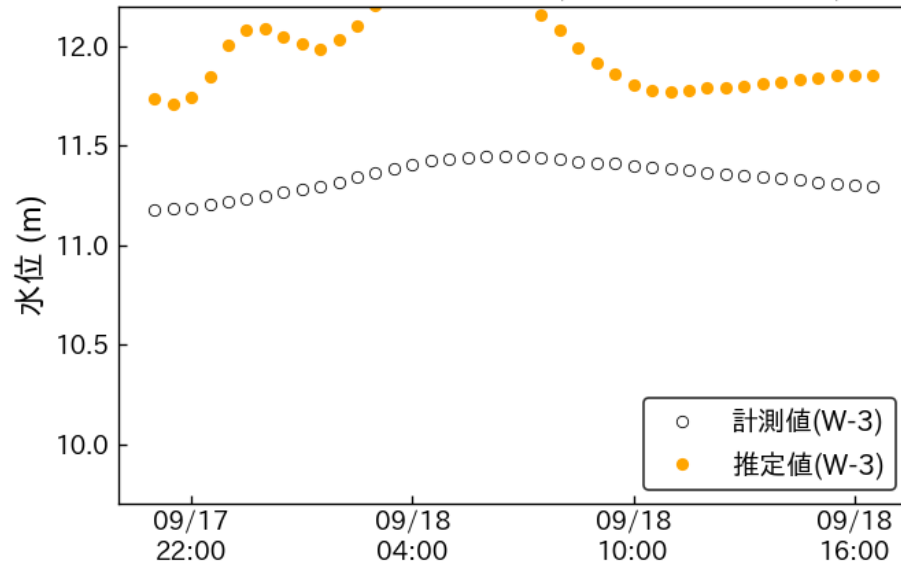




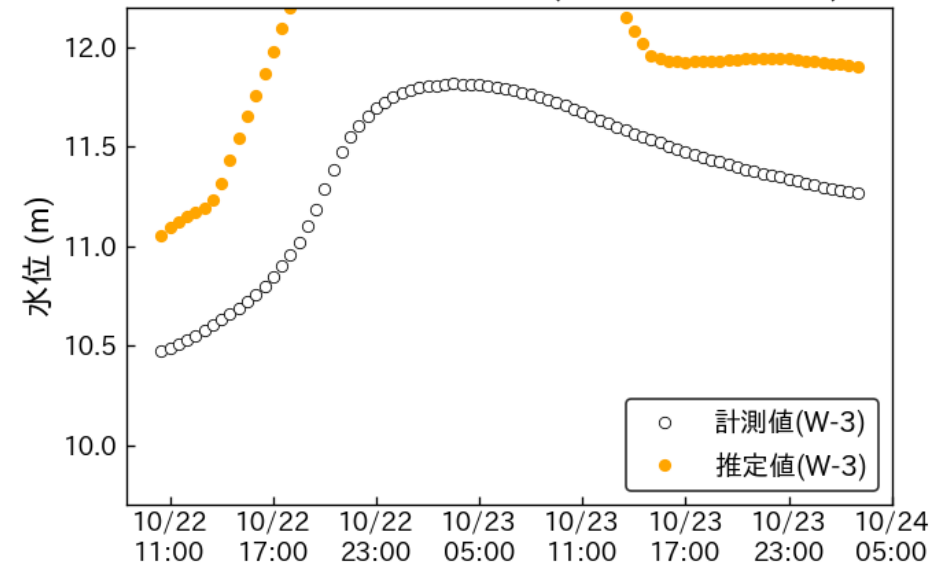


# 基盤水位の学習状況

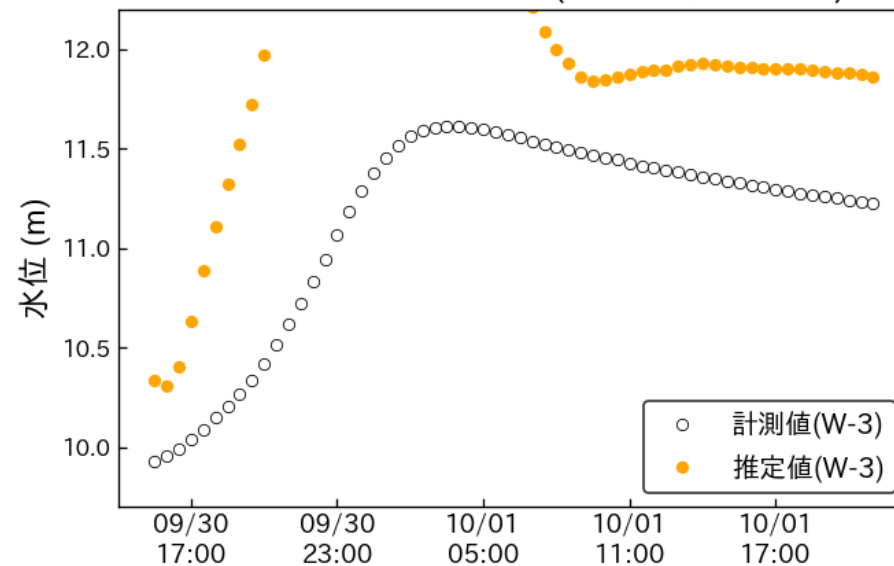
### 平成29年 台風18号 (学習回数10回)



### 平成29年 台風21号 (学習回数10回)



### 平成30年 台風24号 (学習回数10回)

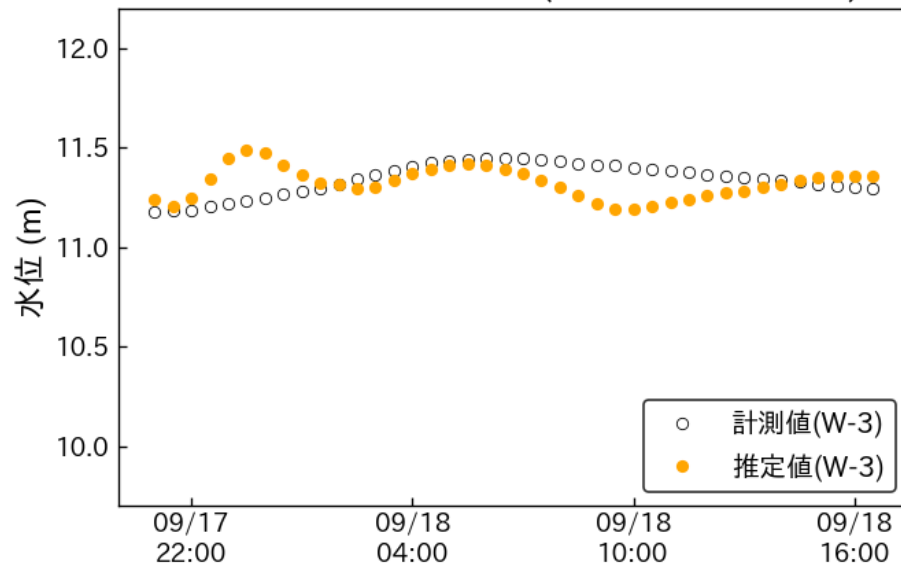




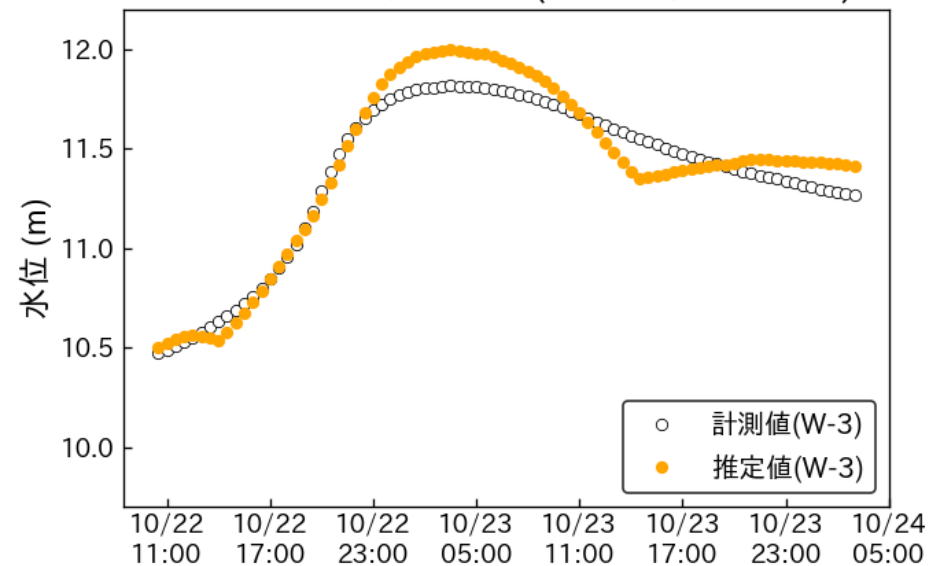


# 基盤水位の学習状況

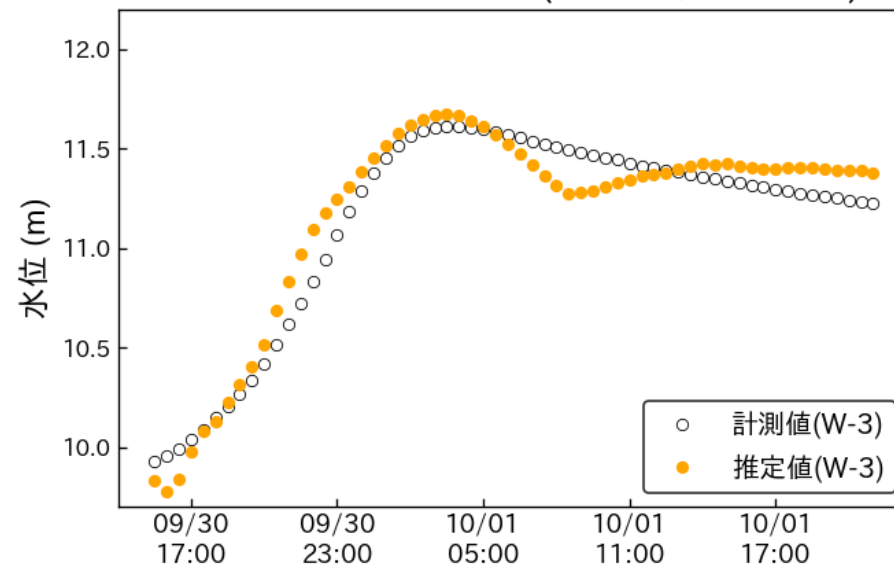
平成29年 台風18号 (学習回数100回)



平成29年 台風21号 (学習回数100回)



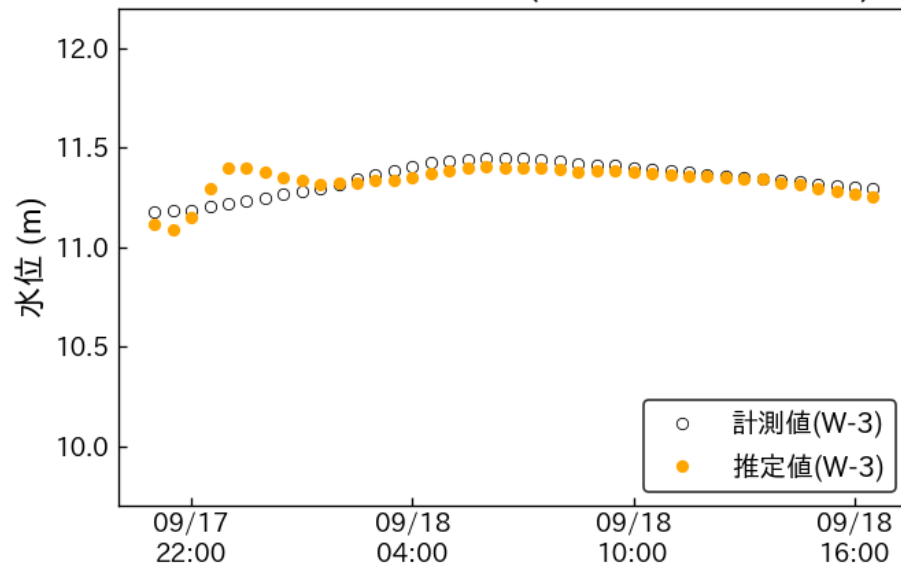
平成30年 台風24号 (学習回数100回)



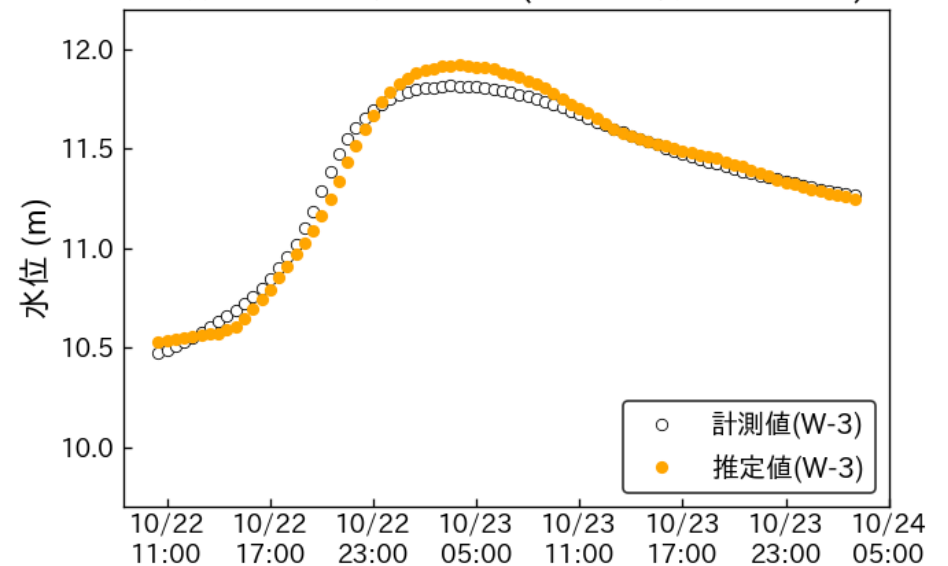


# 基盤水位の学習状況

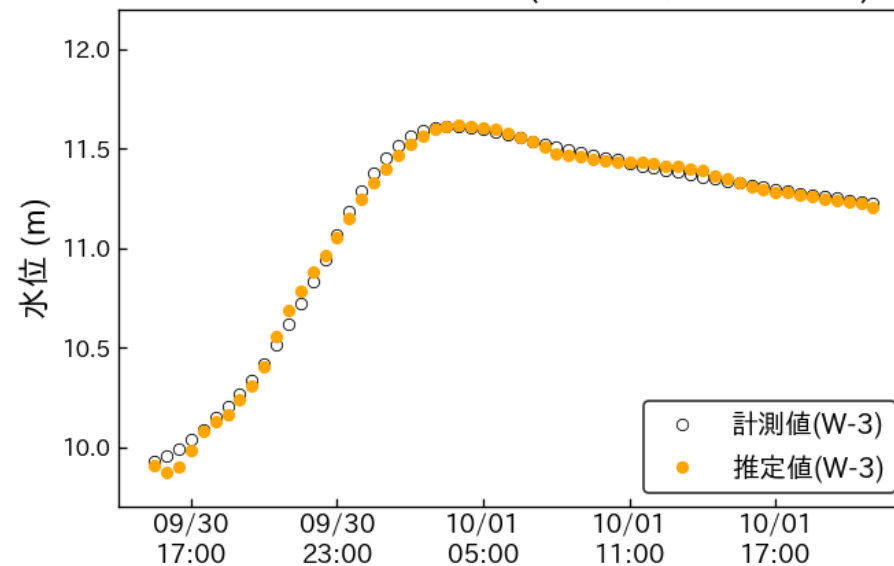
平成29年 台風18号 (学習回数1000回)



平成29年 台風21号 (学習回数1000回)



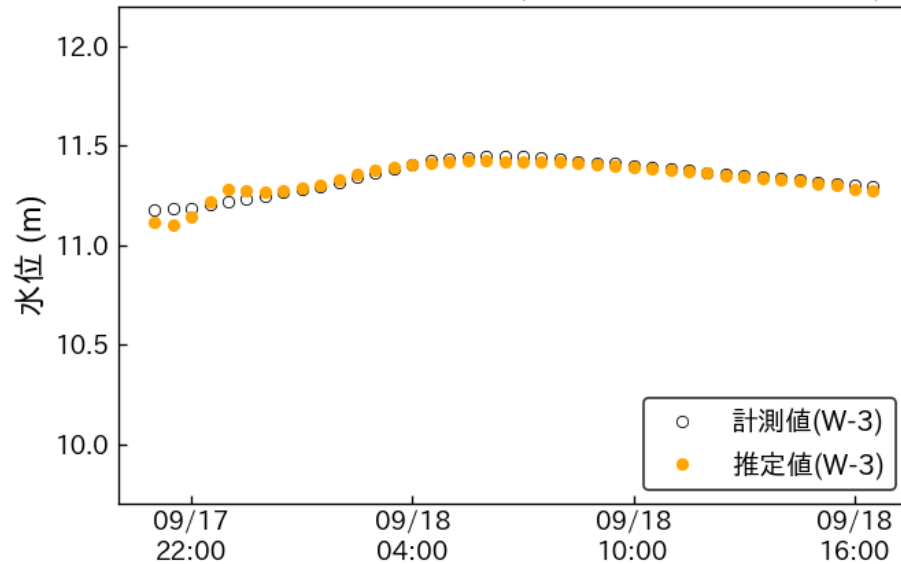
平成30年 台風24号 (学習回数1000回)



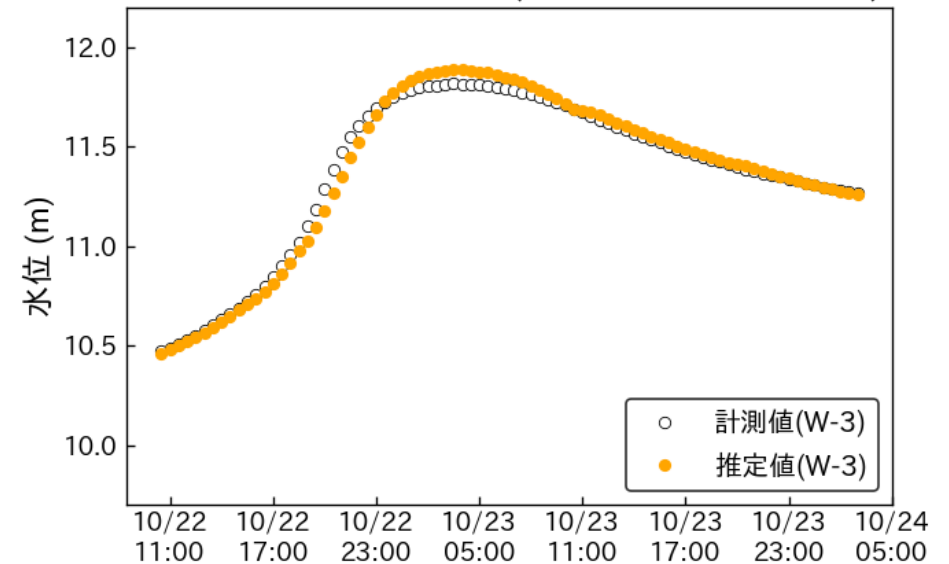


# 基盤水位の学習状況

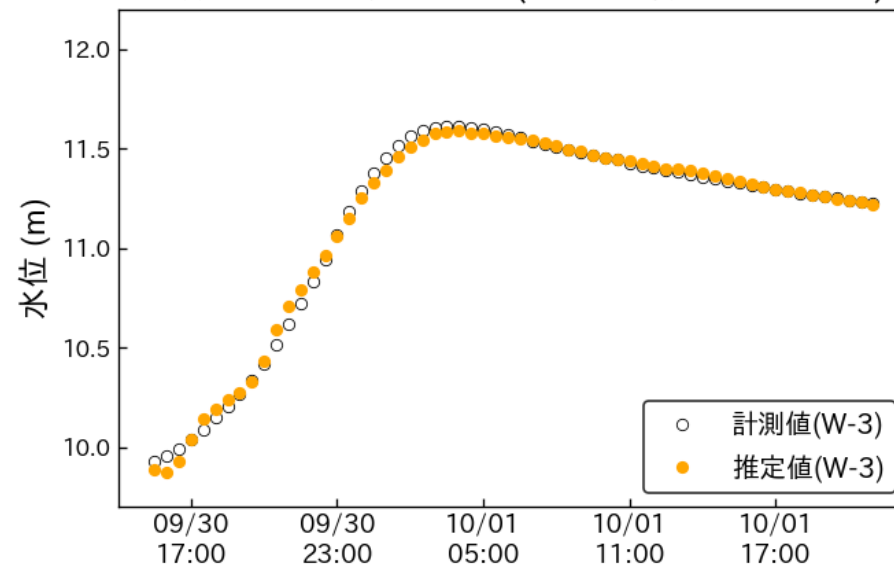
平成29年 台風18号 (学習回数10000 回)



平成29年 台風21号 (学習回数10000 回)



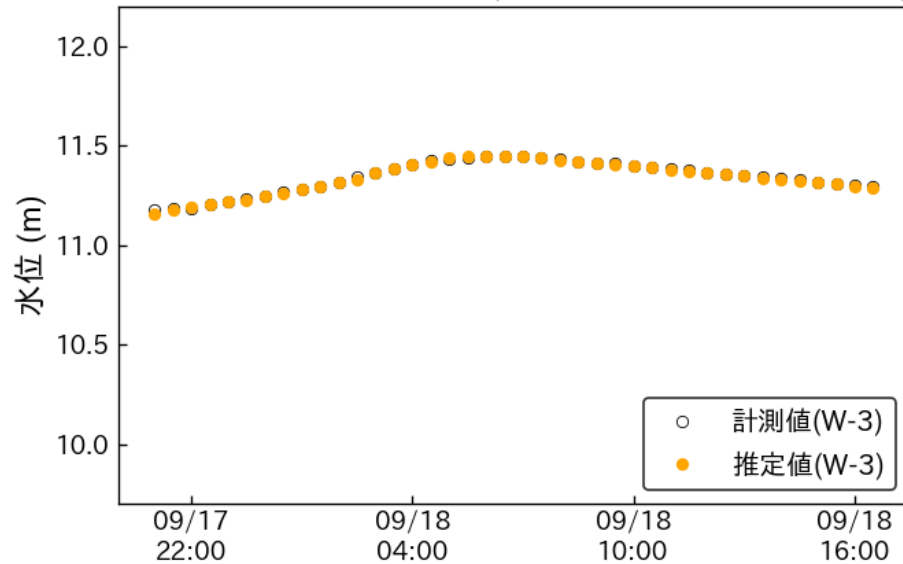
平成30年 台風24号 (学習回数10000 回)



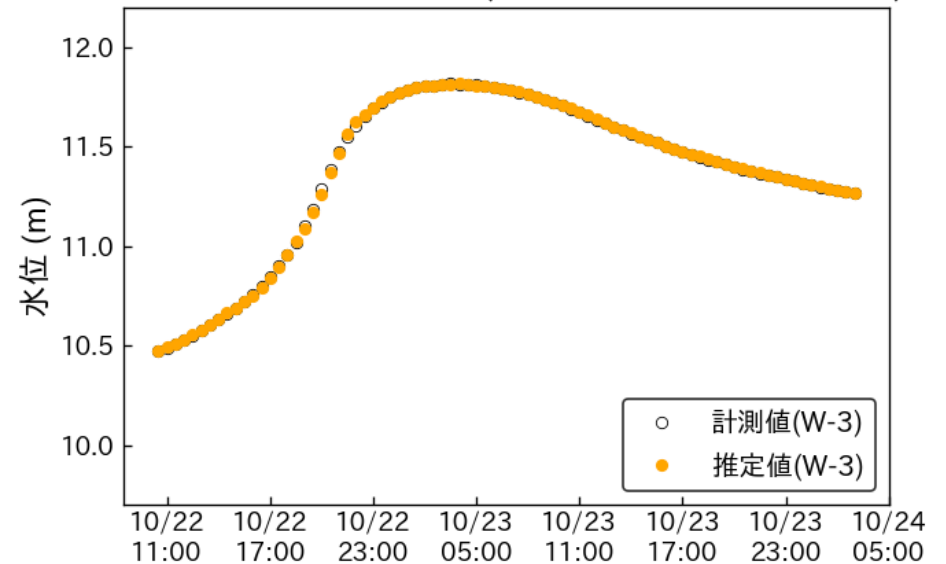


# 基盤水位の学習状況

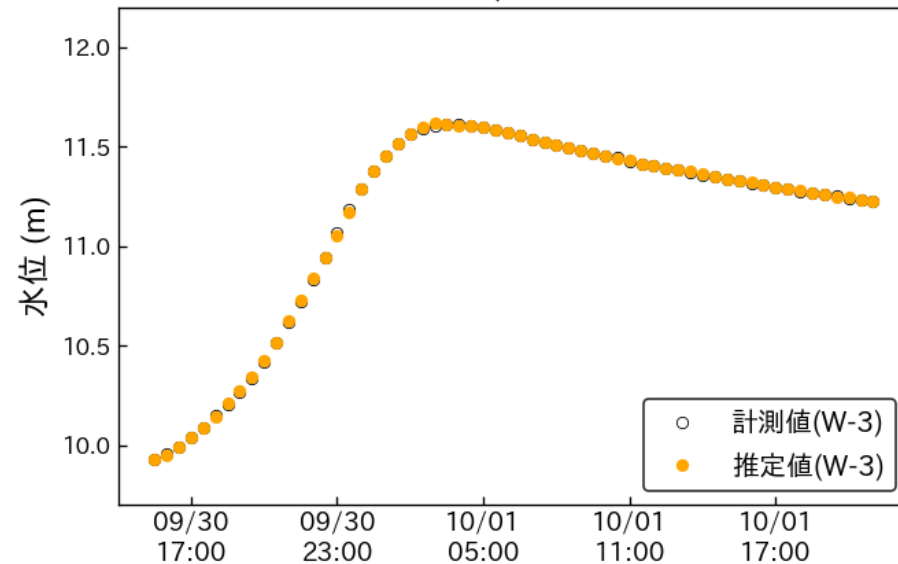
平成29年 台風18号 (学習回数5000000 回)



平成29年 台風21号 (学習回数5000000 回)



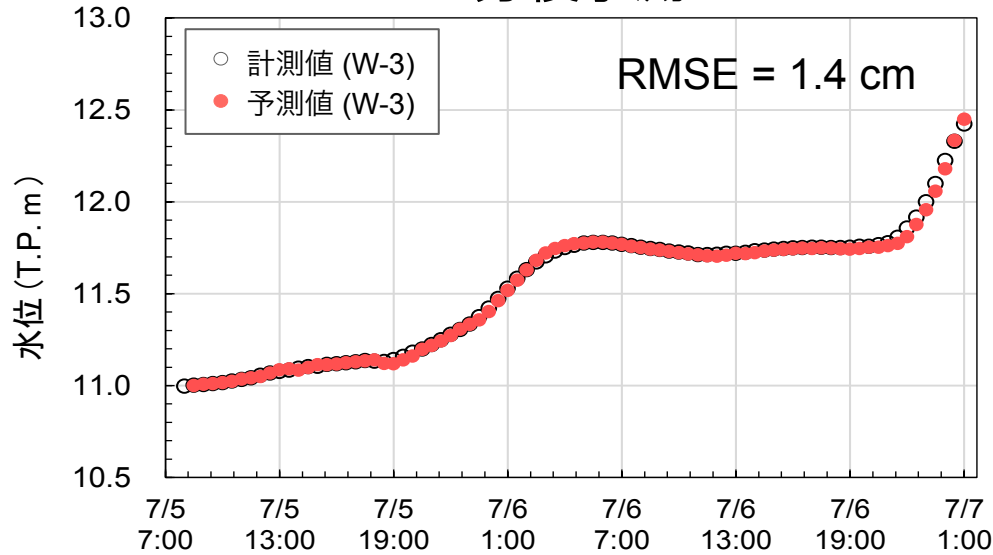
平成30年 台風24号 (学習回数5000000 回)



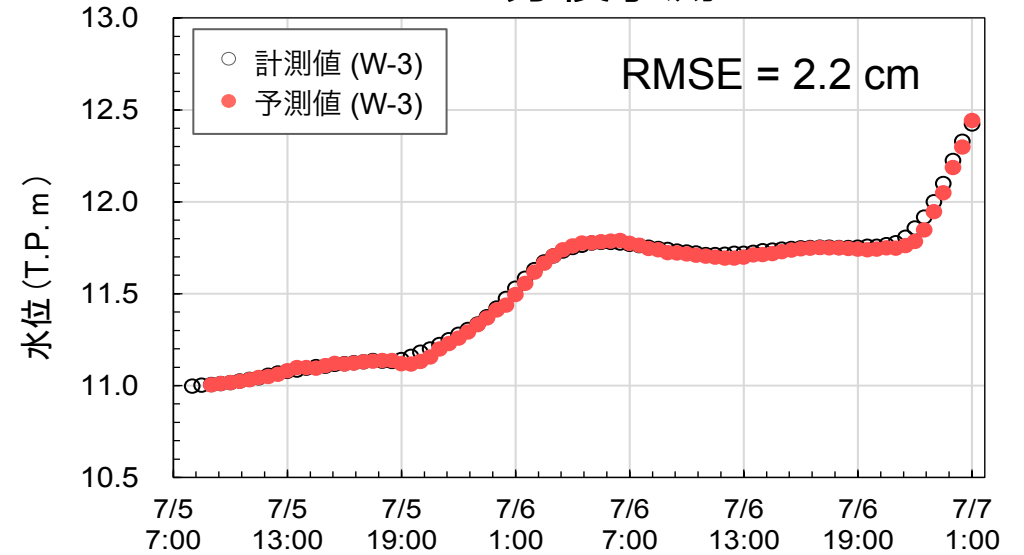


# 基盤水位の予測精度

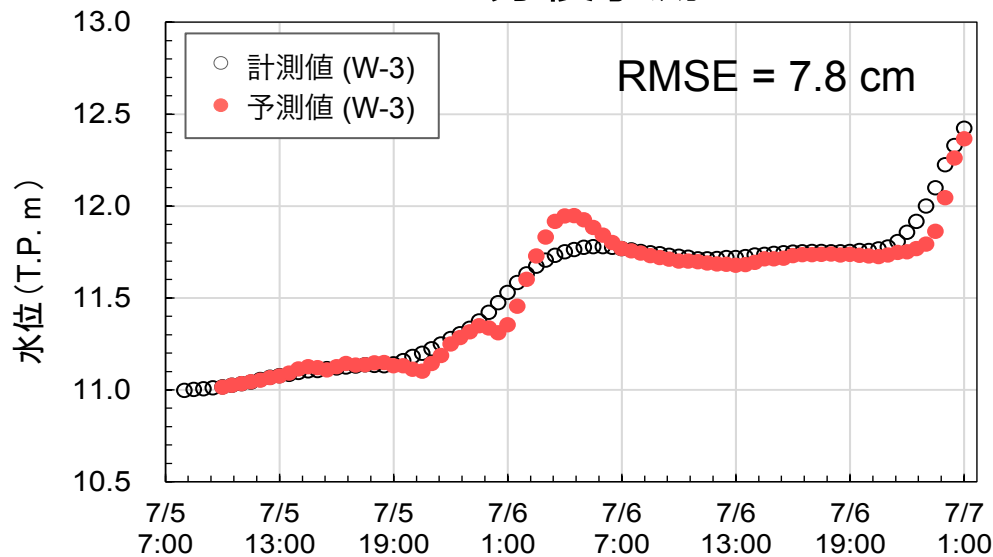
### 30分後予測



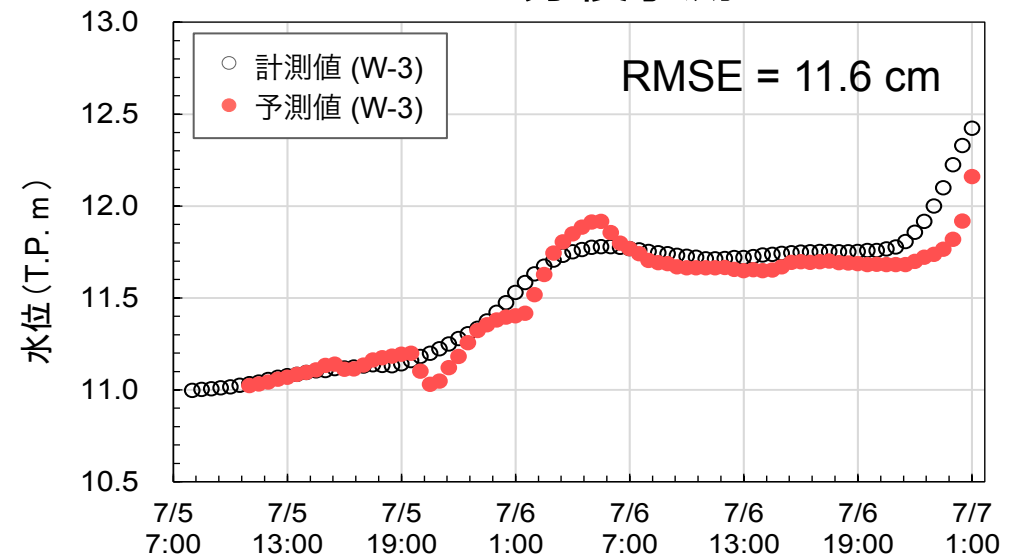
### 60分後予測



### 120分後予測



### 180分後予測



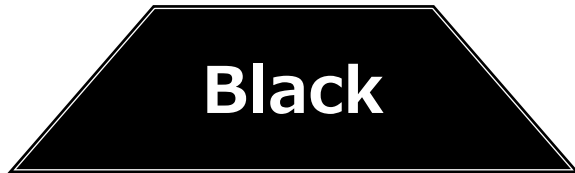


# 深層学習を用いたニューラルネットワーク による堤防内水位の変動予測

- 堤防内の浸透挙動を学習させたニューラルネットワーク
  - 出水時における堤防内水位の迅速な予測に有用
  - 計測データの蓄積による予測精度の向上を期待
- 精度良い予測のためには計測データの質と量が重要
  - 計測量（水位, 土中水分量, 気象情報など）の選定
  - 計測システム（計測点配置, 計測間隔など）の検討

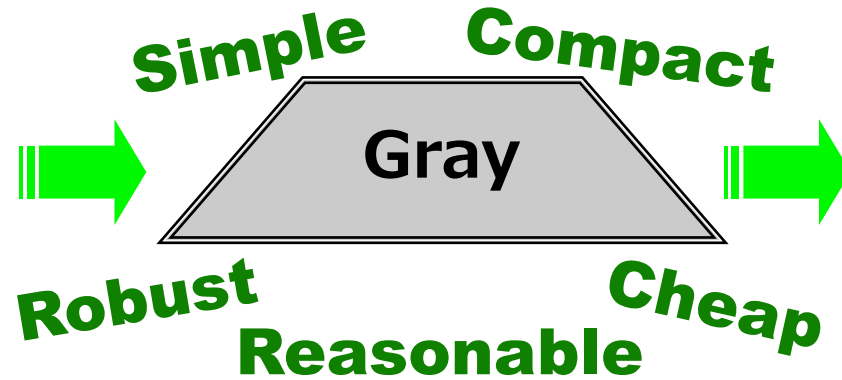
### 【1】堤防調査

外力評価

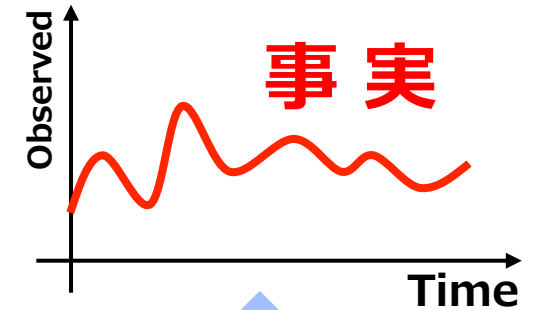


地盤定数  
初期・境界条件

### 【2】浸透流計測



### 【3】データ学習

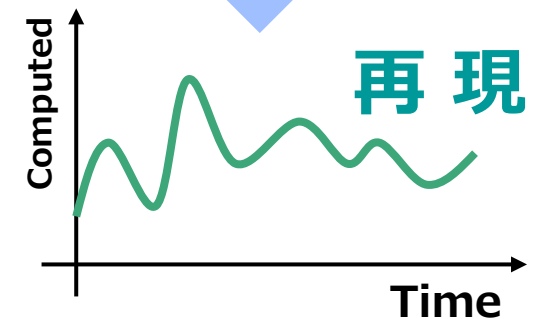
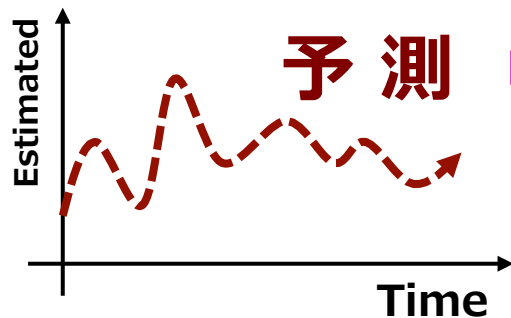


パターン認識

### 【4】堤防モデル



### 【5】避難情報



河川堤防の浸透破壊を予測するために...

河川堤防の浸透破壊を予測するために...

---

継続【計測】は力なり

*Continuous field measurements are the father of success.*

---

つづく...